

# 盐度和氨氮对方斑东风螺存活和能量收支的影响

周建聪<sup>1</sup>, 顾志峰<sup>1,2</sup>, 叶丙聪<sup>1</sup>, 刘 闯<sup>1</sup>, 羊玉梅<sup>1</sup>, 刘春胜<sup>1,2</sup>, 王爱民<sup>1,2</sup>, 石耀华<sup>1</sup>

(1. 海南大学 海洋学院, 海南 海口 507228; 2. 海南大学 南海海洋资源利用国家重点实验室, 海南 海口 507228)

**摘要:** 为了探究盐度和氨氮对方斑东风螺生理代谢的影响, 本文采用实验生态学方法, 研究了不同盐度和氨氮浓度条件下方斑东风螺(*Babylonia areolata*)的存活以及能量收支变化。结果显示, 方斑东风螺的存活率随着盐度上升呈现先上升后下降的趋势, 当盐度为 25 和 30 时, 方斑东风螺的存活率为 100%, 低盐 96 h LC<sub>50</sub> 为 10.14, 高盐为 44.36; 方斑东风螺存活率随氨氮浓度上升逐渐下降, 当氨氮质量浓度为 0~20 mg/L 时, 存活率均为 100%; 氨氮 96 h LC<sub>50</sub> 为 253.83 mg/L。盐度和氨氮对方斑东风螺的摄食率、排粪率、耗氧率和排氨率均具有显著影响( $P < 0.05$ )。盐度实验中, 方斑东风螺的摄食率、排粪率和排氨率在盐度 30 时达到最大值, 分别为 20.50、8.62 和 0.07 mg/(g·h), 耗氧率在盐度 35 时达到最大值, 为 1.84 mg/(g·h)。氨氮实验中, 摄食率和排粪率在 10 mg/L 时达到最大值, 分别为 23.58 和 10.42 mg/(g·h), 耗氧率和排氨率在 20 mg/L 时达到最大值, 分别为 2.49 和 0.13 mg/(g·h)。通过能量收支方程发现, 随着盐度和氨氮浓度的上升, 方斑东风螺生长能占比均呈现先上升后下降的趋势, 其在盐度 30 和氨氮浓度 5mg/L 时达到最大值。本研究首次从能量收支角度出发, 探讨了盐度和氨氮对方斑东风螺生理代谢的影响, 可为其工厂化养殖提供参考。

**关键词:** 方斑东风螺(*Babylonia areolata*); 盐度; 氨氮; 存活率; 能量收支

中图分类号: S968.31 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2022)10-0104-09

DOI: 10.11759/hyxx20210907002

方斑东风螺(*Babylonia areolata*)俗称花螺, 隶属于软体动物门(Mollusca)、蛾螺科(Buccinidae)<sup>[1]</sup>。方斑东风螺肉质鲜美独特, 是一种营养价值丰富的优质海产贝类, 在国内外市场上深受消费者喜爱<sup>[2, 3]</sup>。目前方斑东风螺已成为海南、福建和广东等地区的重要养殖品种<sup>[4]</sup>。然而近年来, 由于养殖密度过高、饵料投喂过度以及天气变化等原因导致方斑东风螺病害频发, 进而影响了方斑东风螺产业的稳定发展<sup>[5, 6]</sup>。

当前方斑东风螺养殖模式多为露天水泥池+遮阳网模式, 在养殖过程中常因降雨而导致盐度波动; 与此同时, 由于投饵过度极易造成养殖水体中氨氮浓度过高<sup>[7-10]</sup>。当盐度和氨氮发生剧烈变动, 会直接影响方斑东风螺的日常摄食等活动, 进而影响其能量代谢, 甚至是死亡<sup>[11]</sup>。截至目前, 有关盐度和氨氮对方斑东风螺能量收支影响的研究鲜有报道。本研究首先比较了不同盐度和氨氮对方斑东风螺存活率的影响; 继而, 在确定了方斑东风螺的盐度和氨氮耐受范围的基础上, 研究了不同盐度和氨氮条件对方斑东风螺能量收支的影响。研究结果可为方斑东风螺的工厂化养殖提供数据支撑。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

实验所用方斑东风螺购自海南省文昌市某养殖场, 暂养于海南大学海洋学院实验室内, 1 周后选取健康无病的个体进行实验。暂养海水为自然海水、盐度  $31 \pm 0.75$ 、温度( $27.11 \pm 0.49$ ) °C、pH  $7.15 \pm 0.11$ 。暂养期间持续充气, 每天投饵 1 次, 投饵后 2 h 全量换水。实验用方斑东风螺生物学数据见表 1。

表 1 方斑东风螺生物学数据

Tab. 1 Biological characteristics of *Babylonia areolata*

壳长/mm	湿质量/g	软组织湿质量/g	软组织干质量/g
26.49±3.16	4.92±1.06	1.58±0.45	0.68±0.34

收稿日期: 2021-09-07; 修回日期: 2021-10-20

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0900704); 院士团队创新中心项目(HD-YSZX-202011)

[Foundation: National Key Research and Development Program of China, No. 2018YFD0900704; Talent Development Program of Hainan Province, No. HD-YSZX-202011]

作者简介: 周建聪(1997—), 男, 江苏泰州人, 硕士研究生, 主要从事贝类养殖研究, E-mail: zhujcgreat@163.com; 刘春胜(1984—), 通信作者, E-mail: lcs5113@163.com

## 1.2 实验方法

### 1.2.1 盐度和氨氮胁迫实验

实验在 540 mm×420 mm×300 mm 的养殖箱中进行, 水体为 20 L。按照预实验结果, 盐度胁迫实验设置 5、10、15、20、25、30、35、40、45 和 50 共 10 个浓度梯度。各组通过加入淡水或海盐调节盐度, 每天盐度升降幅度为 5, 至实验浓度停止。氨氮胁迫实验设置 0、10、20、40、80、160 和 320 mg/L 共 7 个浓度梯度。氨氮浓度通过加入氯化铵配制而成, 氨氮质量浓度每天升高 5 mg/L。每组 30 只方斑东风螺, 设置 3 个重复组, 实验周期为 14 d。

实验期间每天监测各组水体盐度和氨氮浓度变化, 持续充气, 每天全换水 1 次, 每隔 12 h 及时挑出死亡个体并记录死亡个数。以螺肉脱壳, 触碰无反应以及发出恶臭味为方斑东风螺死亡标准。实验后整理各浓度组 96 h 方斑东风螺死亡个数, 利用概率单位法计算半致死浓度(LC<sub>50</sub>)<sup>[11-13]</sup>。

### 1.2.2 摄食率和排粪率的测定

根据 1.2.1 计算获得的盐度和氨氮胁迫结果设置盐度和氨氮梯度, 测定摄食率和排粪率。盐度实验设置 6 个浓度组: 15、20、25、30、35 和 40; 氨氮实验设置 6 个质量浓度组: 0、5、10、15、20 和 40 mg/L, 每个浓度 3 个重复组。实验开始前先进行方斑东风螺驯化, 按 1.2.1 方法调整各组盐度和氨氮浓度, 待各组均达到实验浓度后, 暂养一周。

通过烘干法和灼烧法测定饵料冰鲜鱼水分和有机物含量, 其中水分含量为 63.53%, 有机物含量为干物质重的 90.90%<sup>[14]</sup>。

采用静水实验法进行摄食和排粪实验: 将 8 只方斑东风螺称质量后, 养殖于 293 mm×196 mm×144 mm 小型养殖箱, 水体为 3 L。实验投喂方斑东风螺体质量 10%~12% 的冰鲜鱼, 摄食 2 h 后, 收集残饵, 并烘干称质量。收集残饵后, 将方斑东风螺转移至盛有新鲜海水的养殖箱, 开始排粪实验, 24 h 后, 采用 GF/C 膜过滤收集粪便, 烘干, 用马弗炉灼烧至恒质量, 测定有机物含量, 方法参照《海洋监测规范》(GB 17378-2007)<sup>[15]</sup>。

### 1.2.3 耗氧率和排氮率的测定

耗氧率和排氮率使用密闭流水法测定。耗氧率采用水生生物呼吸仪(Loligo Systems 公司, 丹麦)进行测定。具体为: 将方斑东风螺转移至盛有相应盐度/氨氮浓度水体的密闭呼吸器中(内腔体积为 1.6 L); 另设一组具有相同盐度和氨氮浓度的未放生物的海水。呼吸

仪运行 2 h, 期间水流速度为 5 L/min, 实时测定水体中溶氧变化。实验开始时与结束后分别采集呼吸器中 50 mL 海水, 用于氨氮浓度测定。根据预实验结果, 每个呼吸器分别放置 5 只方斑东风螺。水体中氨氮浓度按《海洋监测规范》(GB17378.4/36.1-2007)<sup>[16]</sup>进行测定, 所用仪器为 DeChem-Tech(德国)全自动化学分析仪。

### 1.2.4 指标计算

$$\text{摄食率}(R_{F1})=(F_{I2}-F_{I1})/(w\times t);$$

$$\text{排粪率}(R_F)=(W_1-W_0)/(w\times t), \text{ 其中 } W_1=W_{65}-W_{450};$$

$$\text{耗氧率}(R_O)=[(O_{D0}-O_{Dt})\times V]/(w\times t);$$

$$\text{排氮率}(R_N)=[(N_t-N_0)\times V]/(w\times t); O/N=R_O/R_N。$$

式中,  $F_{I2}$  为饵料的投喂量(g),  $F_{I1}$  为饵料的剩余量(g)。  $W_{65}$  为粪便样品经 GF/C 滤纸(预先在马弗炉中经 450 °C 灼烧 8 h 处理)过滤后在 65 °C 烘箱中烘至恒质量,  $W_{450}$  为  $W_{65}$  样品滤纸在马弗炉中经 450 °C 灼烧处理并冷却后的质量,  $W_0$  为 GF/C 滤膜(经马弗炉灼烧后)初始质量。  $O_{D0}$  和  $O_{Dt}$  分别为实验开始和实验结束后水中的溶氧含量(mg/L),  $V$  为呼吸器体积(L),  $w$  为方斑东风螺软体干质量(g),  $t$  为实验持续时间(h),  $N_0$  和  $N_t$  分别为实验开始和实验结束后水中总氨氮质量浓度(mg/L)。

### 1.2.5 能量代谢计算

$$\text{能量收支方程: } C=F+R+U+G。$$

式中,  $C$  为摄食能,  $F$  为排粪能,  $R$  为呼吸能,  $U$  为排泄能,  $G$  为生长能。  $C$ 、 $F$ 、 $R$  和  $U$  分别通过食物中有机物(POM)、粪便中 POM、呼吸率和排氮率计算。

本实验采用以下能量转换因子: 1 mg POM=20.78 J; 1 mg O<sub>2</sub>=14.24 J; 1 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N=24.87 J<sup>[17]</sup>。

### 1.2.6 数据分析

实验数据以平均值±标准差(Mean±S.D.)表示, 采用 Excel 2019 和 SPSS 23.0 软件进行作图和数据处理, 各实验组间显著性分析采用单因素方差分析(One-way ANOVA), 若组间存在显著差异, 再进行 Turkey 多重比较进行, 显著性水平为  $P<0.05$ 。

## 2 结果

### 2.1 盐度和氨氮胁迫实验结果

由图 1 可知, 不同盐对方斑东风螺存活率的影响不同。方斑东风螺的存活率随着盐度升高呈现出先升高后下降的趋势。其中, 盐度为 5、10、45 和 50 时方斑东风螺在 1 周内全部死亡; 盐度为 15 时, 14 d 内存活率在 50%以上; 其他盐度组存活率均在 80%以上。利用概率单位法获得盐对方斑东风螺的 96 h 半致死浓度(LC<sub>50</sub>), 为低盐 10.14 和高盐 44.36。

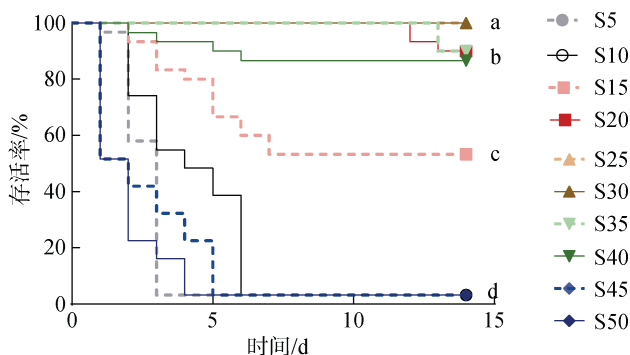


图 1 盐度对方斑东风螺存活率的影响

Fig. 1 Effects of salinity on the survival rate of *Babylonia areolata*

不同字母表示各组具有显著性差异( $P < 0.05$ ), 图 2 同  
Means with different letters are significantly different from each other ( $P < 0.05$ ), and Fig.2 was the same

由图 2 可知, 方斑东风螺的存活率随着氨氮浓度升高而下降。当氨氮质量浓度为 0~20 mg/L 时, 方斑东风螺的存活率在 14 d 内为 100%; 当氨氮质量浓度高于 160 mg/L 时, 其在 14 d 内全部死亡。氨氮质量浓度为 40 和 80 mg/L 时, 其存活率分别高于 60% 和 30%。利用概率单位法得出氨氮对方斑东风螺 96 h 的半致死浓度(LC<sub>50</sub>)为 253.83 mg/L。

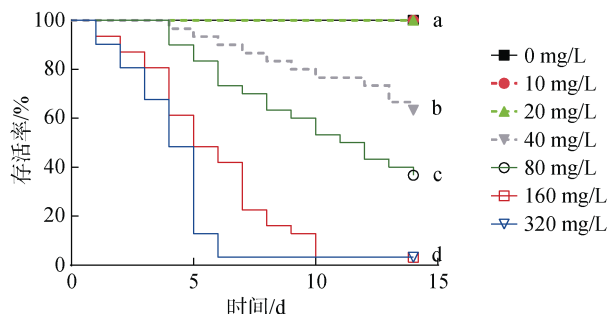


图 2 氨氮对方斑东风螺存活率的影响

Fig. 2 Effects of ammonia nitrogen on the survival rate of *Babylonia areolata*

## 2.2 盐度和氨氮对方斑东风螺摄食代谢的影响

由表 2 可知, 盐度对方斑东风螺的摄食率、排粪率、耗氧率和排氨率均具有显著影响( $P < 0.05$ )。当盐度从 15 上升到 40 时, 方斑东风螺的摄食率和排粪率呈现先上升后下降的趋势, 在盐度为 30 时分别达到最高值; 耗氧率和排氨率也呈现先上升后下降的趋势, 分别在盐度为 35 和盐度为 30 时达到最大值。与此同时, 各盐度组方斑东风螺的氧氮比存在显著性差异( $P < 0.05$ ), 在盐度为 30 时达到最小值。

表 2 盐度对方斑东风螺摄食和代谢的影响

Tab. 2 Effects of salinity on feeding and metabolism of *Babylonia areolata*

盐度	摄食率/[mg/(g·h)]	排粪率/[mg/(g·h)]	耗氧率/[mg/(g·h)]	排氨率/[mg/(g·h)]	氧氮比
15	10.25±0.79 <sup>c</sup>	4.82±0.11 <sup>b</sup>	0.78±0.05 <sup>c</sup>	0.02±0.01 <sup>d</sup>	28.80±5.34 <sup>a</sup>
20	13.86±2.35 <sup>bc</sup>	6.50±1.31 <sup>ab</sup>	0.86±0.04 <sup>c</sup>	0.03±0.01 <sup>cd</sup>	24.75±1.79 <sup>ab</sup>
25	17.10±1.83 <sup>ab</sup>	7.58±1.74 <sup>ab</sup>	0.88±0.11 <sup>c</sup>	0.04±0.01 <sup>cd</sup>	23.08±5.50 <sup>ab</sup>
30	20.50±2.04 <sup>a</sup>	8.62±2.07 <sup>a</sup>	1.02±0.21 <sup>c</sup>	0.07±0.02 <sup>a</sup>	15.70±3.69 <sup>b</sup>
35	16.72±2.56 <sup>ab</sup>	7.31±0.69 <sup>ab</sup>	1.84±0.10 <sup>a</sup>	0.06±0.01 <sup>ab</sup>	30.89±1.71 <sup>a</sup>
40	12.87±0.69 <sup>bc</sup>	5.88±0.75 <sup>ab</sup>	1.43±0.21 <sup>b</sup>	0.05±0.01 <sup>bc</sup>	31.59±4.53 <sup>a</sup>

注: 不同字母表示同列具有显著性差异( $P < 0.05$ ); 下同

由表 3 可知, 氨氮浓度对方斑东风螺的摄食率、排粪率、耗氧率和排氨率具有显著影响( $P < 0.05$ )。当氨氮质量浓度从 0 mg/L 上升到 40 mg/L 时, 方斑东风螺的摄食率和排粪率呈现先上升后下降的趋势, 在 10 mg/L 时达到最大值, 而在 40 mg/L 时显著小于其他质量浓度组( $P < 0.05$ )。与此同时, 耗氧率和排氨率也同样呈现先上升后下降的趋势, 在 20 mg/L 时达到最大值, 并显著高于其他质量浓度组( $P < 0.05$ )。各质量浓度组的氧氮比之间无显著性差异( $P > 0.05$ )。

## 2.3 不同盐度和氨氮条件下方斑东风螺能量收支方程

由表 4 可知, 生长能的占比随着盐度上升呈现先上升后下降的趋势, 排粪能占比则是呈现先下降后上升的趋势。当盐度为 30 时, 方斑东风螺的生长能占摄食能的比例最高, 而排粪能所占比例最低。呼吸能的占比始终不高, 不超过 10%; 而排泄能占比则最低, 不超过 1%。

表 3 氨氮对方斑东风螺摄食和代谢的影响

Tab. 3 Effects of ammonia nitrogen on the feeding and the metabolism of *Babylonia areolata*

氨氮浓度/(mg/L)	摄食率/[mg/(g·h)]	排粪率/[mg/(g·h)]	耗氧率/[mg/(g·h)]	排氮率/[mg/(g·h)]	氧氮比
0	20.46±1.24 <sup>ab</sup>	9.30±1.54 <sup>ab</sup>	1.04±0.07 <sup>c</sup>	0.07±0.01 <sup>d</sup>	15.98±2.06 <sup>a</sup>
5	22.47±0.95 <sup>ab</sup>	9.89±0.90 <sup>a</sup>	1.61±0.10 <sup>b</sup>	0.08±0.01 <sup>cd</sup>	21.61±1.77 <sup>a</sup>
10	23.58±2.51 <sup>a</sup>	10.42±1.04 <sup>a</sup>	1.63±0.11 <sup>b</sup>	0.09±0.01 <sup>bc</sup>	18.47±0.26 <sup>a</sup>
15	18.08±0.94 <sup>bc</sup>	8.99±1.29 <sup>ab</sup>	2.13±0.33 <sup>ab</sup>	0.10±0.01 <sup>b</sup>	21.04±4.64 <sup>a</sup>
20	13.59±1.76 <sup>cd</sup>	6.55±0.41 <sup>bc</sup>	2.49±0.33 <sup>a</sup>	0.13±0.02 <sup>a</sup>	18.98±3.79 <sup>a</sup>
40	9.43±1.90 <sup>d</sup>	5.22±0.39 <sup>c</sup>	0.92±0.09 <sup>c</sup>	0.04±0.01 <sup>e</sup>	21.09±3.14 <sup>a</sup>

表 4 不同盐度下方斑东风螺的能量收支方程

Tab. 4 Energy budget of *Babylonia areolata* at varied salinity

盐度	能量收支方程
15	100C=47.06F+5.18R+0.32U+47.44G
20	100C=46.94F+4.23R+0.30U+48.53G
25	100C=44.32F+3.53R+0.27U+51.88G
30	100C=42.05F+3.40R+0.38U+54.17G
35	100C=43.72F+7.55R+0.43U+48.30G
40	100C=45.65F+7.63R+0.42U+46.30G

由表 5 可知, 氨氮质量浓度为 5 mg/L 时, 生长能占比最高, 此时排粪能占比最低, 其排泄能占比也是显著低于其他质量浓度组( $P<0.05$ ), 生长能占比随着氨氮质量浓度上升呈现出先上升后下降的趋势。当氨氮质量浓度为 20 mg/L 时, 其呼吸能和排泄能显著高于其他质量浓度组( $P<0.05$ )。

表 5 不同氨氮质量浓度下方斑东风螺的能量收支方程

Tab. 5 Energy budget of *Babylonia areolata* at varied ammonia nitrogen concentration

氨氮质量浓度/(mg/L)	能量收支方程
0	100C=45.47F+3.48R+0.38U+50.67G
5	100C=43.99F+4.90R+0.40U+50.71G
10	100C=44.20F+4.74R+0.45U+50.61G
15	100C=49.72F+8.09R+0.68U+41.51G
20	100C=48.22F+12.56R+1.17U+38.05G
40	100C=55.37F+6.71R+0.56U+37.36G

### 3 讨论

#### 3.1 盐度对方斑东风螺存活与能量收支的影响

盐度是影响海水贝类生长存活的重要生态因子, 然而降雨干旱等天气因素极易导致水体盐度发生变化, 进而影响其摄食生长等生理活动<sup>[18, 19]</sup>。当盐

度超出生物耐受范围时, 会严重影响其存活率。如许岚等<sup>[20]</sup>研究表明黑壳长牡蛎(*Crassostrea gigas*)幼虫的耐受范围为 16~36; 谢仁政等<sup>[21]</sup>发现珠母贝(*Pinctada margaritifera*)幼虫和稚贝的盐度耐受范围为 23~38。本研究发现方斑东风螺的存活率随着盐度升高呈现出先升高后下降的趋势, 耐受盐度范围为 15~40 左右, 其耐受范围与长牡蛎类似, 高于珠母贝。

盐度是影响海水贝类摄食生长和呼吸代谢的主要因素<sup>[22]</sup>。贝类通过耗能调节渗透压以应对盐度的变化, 进而影响自身代谢水平<sup>[23]</sup>。当贝类处于适宜盐度水平下时, 其代谢水平会随着盐度的上升而提高, 一旦超出这一水平, 其就需要调节自身的生理活动频率以适应环境的变化<sup>[24-26]</sup>。本研究发现, 盐度 15~40 时, 方斑东风螺的摄食率、排粪率、耗氧率和排氮率均随着盐度的升高而呈现出先上升后下降的趋势。该结果与近江牡蛎(*Crassostrea ariakensis*)、甲虫螺(*Cantharus cecillei*)、泥螺(*Bullacta exarata*)和马氏珠母贝(*Pinctada fucata martensii*)等一致<sup>[15, 27-29]</sup>。氧氮比(O/N)值反映了生物体内蛋白质与脂肪、碳水化合物分解代谢的比率<sup>[30-31]</sup>。当 O/N 值约为 24 时, 表明该生物体内主要以脂肪和蛋白质混合代谢为主; 当氧氮比则接近无限大时, 生物主要由脂肪和糖类来供能<sup>[32]</sup>。本研究中, 盐度为 20~30, 方斑东风螺的氧氮比为 15.70~24.75, 表明在该范围中, 主要以脂肪和蛋白质供能为主; 而盐度为 15、35 和 40 时, 其氧氮比均大于 24, 说明在该盐度条件下, 主要由脂肪和糖类来供能。这可能是因为当盐度过高或过低时, 方斑东风螺需要利用脂肪和糖类提供的能量来应对环境变化造成的不适影响。

生长余力是指动物所摄食的食物总能量与自身利用及损失的能量之差, 对于贝类而言是其在维持呼吸排泄等基本生活需要后所能提供的供其生长和繁殖的能量<sup>[33-34]</sup>。王雅倩等<sup>[35]</sup>对大竹蛭(*Solen grandis*)

研究发现其生长能占摄食能比例在盐度 18~33 范围内随盐度上升呈先上升后下降的趋势。阎希柱等<sup>[36]</sup>研究发现九孔鲍(*Haliotis diversicolor supertexta*)生长能占比在盐度 21~41 范围内随盐度上升呈先上升后下降的趋势。本研究发现方斑东风螺生长能占比在实验盐度范围内随盐度上升呈先上升后下降的趋势,且在盐度 30 时达到最大值。上述结果说明在适宜盐度下方斑东风螺的生长情况良好,而盐度过高过低时需要消耗更多的能量去维持基本生理活动,从而导致其生长能减少,生长速度降低。

### 3.2 氨氮对方斑东风螺存活与能量收支的影响

氨氮是水产养殖中常见的胁迫因子,残饵、粪便以及生物尸体等分解是其主要来源<sup>[37-38]</sup>。氨氮一般分为离子氨( $\text{NH}_4^+$ )和非离子氨( $\text{NH}_3$ ),其中非离子氨具有较强的脂溶性,极易透过生物的细胞膜进而导致其中毒<sup>[39-41]</sup>。本研究发现方斑东风螺存活率随着氨氮浓度的上升逐渐下降,该结果与谭春明等<sup>[42]</sup>、师尚丽等<sup>[43]</sup>的研究相似。当氨氮质量浓度不超过 20 mg/L 时,方斑东风螺存活情况良好;当超过 20 mg/L 时,出现死亡现象,表明方斑东风螺的氨氮耐受能力较强。

水体中氨氮浓度过高会对水产动物的器官和免疫系统造成一定的损害,进而导致其摄食量下降<sup>[44]</sup>。本研究中随着氨氮浓度的上升,方斑东风螺的摄食率、排粪率、耗氧率和排氨率均随着氨氮的升高而呈现出先上升后下降的趋势。这一结果与对文蛤的研究结果类似<sup>[11]</sup>。其中,方斑东风螺的摄食率和排粪率在 10 mg/L 时达到最大值,耗氧率和排氨率在 20 mg/L 时达到最大值。方斑东风螺的代谢水平在低浓度的氨氮环境下有一定的上升,可能是因为低浓度的氨氮对其造成的胁迫作用在一定程度上促进了其机体活力的增强。而当氨氮浓度进一步增加时,方斑东风螺则需要消耗大量能量来应对高浓度氨氮的胁迫,从而降低了其消化代谢功能<sup>[45]</sup>。本研究中,方斑东风螺的氧氮比为 15.98~21.61,说明在该范围内,方斑东风螺代谢主要以蛋白质和脂肪供能为主。

研究表明,环境胁迫会迫使水产动物消耗大量的能量进行应对,进而导致各代谢活动能量分配发生了变化<sup>[46]</sup>。本研究中随着氨氮浓度的上升,方斑东风螺生长能占比呈现先上升后下降的趋势,其他能占比也发生了一定的变化。这说明高浓度的氨氮对方斑东风螺的能量利用具有抑制作用。

### 参考文献:

- [1] 谭春明, 赵旺, 吴开畅, 等. 盐度胁迫对方斑东风螺免疫酶活性的影响[J]. 水产科学, 2020, 39(5): 677-684. TAN Chunming, ZHAO Wang, WU Kaichang, et al. Effects of salinity on activities of enzymes related to immune of snail *Babylonia areolaria*[J]. Fisheries Science, 2020, 39(5): 677-684.
- [2] 许贻斌, 沈铭辉, 魏永杰, 等. 两种东风螺的营养成分分析与评估[J]. 台湾海峡, 2008, 4(1): 26-32. XU Yibin, SHEN Minghui, WEI Yongjie, et al. Analysis and evaluation of nutritional composition of *Babylonia areolaria* link and *Babylonia formosae* habeij[J]. Journal of Oceanography in Taiwan Strait, 2008, 4(1): 26-32.
- [3] 洗健安, 张秀霞, 李军涛, 等. 方斑东风螺营养与配合饲料研究进展[J]. 饲料工业, 2016, 37(24): 24-27. XIAN Jianan, ZHANG Xiuxia, LI Juntao, et al. Research progress in nutritional requirement and compound feed for spotted babylon *babylonia areolata*[J]. Feed Industry, 2016, 37(24): 24-27.
- [4] LV W G, ZHONG M C, FU J Q, et al. Comparison and optimal prediction of growth of *Babylonia areolata* and *B. lutosq*[J]. Aquaculture Reports, 2020, 18(5): 100425.
- [5] 杨蕊, 吴开畅, 于刚, 等. 养殖模式对方斑东风螺生长及主要环境因子的影响[J]. 水产科学, 2019, 38(5): 610-615. YANG Rui, WU Kaichang, YU Gang, et al. Effects of culture model on growth and main environmental factors in snail *Babylonia areolaria*[J]. Fisheries Science, 2019, 38(5): 610-615.
- [6] 刘巧红, 王世锋, 蔡岩, 等. 海南养殖方斑东风螺暴发性疾病病原分离鉴定及药敏分析[J]. 渔业科学进展, 2014, 35(1): 74-81. LIU Qiaohong, WANG Shifeng, CAI Yan, et al. Isolation, identification and antibiotic sensitivity analysis of bacterial pathogen from cultured *babylonia areolata* with fulminant infectious disease in Hainan[J]. Progress in Fishery Sciences, 2014, 35(1): 74-81.
- [7] 王鹏帅, 蒋霞敏, 韩庆喜, 等. 盐度和温度对不同规格虎斑乌贼幼体的耗氧率、排氨率和窒息点的影响[J]. 水生生物学报, 2017, 41(5): 1027-1035. WANG Pengshuai, JIANG Xiamin, HAN Qingxi, et al. Effects of salinity and temperature on the oxygen consumption, ammonia excretion rates and suffocation threshold of different sizes of juvenile *Sepia pharaonis*[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2017, 41(5): 1027-1035.
- [8] LEE S H, LEE M C, PUTHUMANA J, et al. Effects of salinity on growth, fatty acid synthesis, and expression of stress response genes in the cyclopoid copepod *Para-*

- cyclopina nana*[J]. *Aquaculture*, 2017, 470: 182-189.
- [9] 谭春明, 赵旺, 于刚, 等. 氨氮胁迫对方斑东风螺溶菌酶及 3 种常见消化酶活性的影响[J]. *南方水产科学*, 2019, 15(3): 120-125.  
TAN Chunming, ZHAO Wang, YU Gang, et al. Effects of ammonia-N stress on activities of lysozyme and three digestive enzymes of *Babylonia areolate*[J]. *South China Fisheries Science*, 2019, 15(3): 120-125.
- [10] WANG T, LI W H, SHAN H W, et al. Responses of energy homeostasis and lipid metabolism in *Penaeus vannamei* exposed to ammonia stress[J]. *Aquaculture*, 2021, 1/2: 737092.
- [11] 陈金凤, 黄鹤忠, 徐汗富, 等. 氨氮对文蛤存活及能量收支的影响[J]. *海洋科学*, 2010, 34(3): 40-46.  
CHEN Jinfeng, HUANG Hezhong, XU Hanfu, et al. Ammonia effects the survival and the energy budget of clam *Meretrix meretrix*[J]. *Marine Sciences*, 2010, 34(3): 40-46.
- [12] 李翠萍, 吴民耀, 王宏元. 3 种半数致死浓度计算方法之比较[J]. *动物医学进展*, 2012, 33(9): 89-92.  
LI Cuiping, WU Minyao, WANG Hongyuan. LC<sub>50</sub> calculated by kochi, probit analysis and linear regression methods[J]. *Progress in Veterinary Medicine*, 2012, 33(9): 89-92.
- [13] 潘训彬, 张秀霞, 鲁耀鹏, 等. 氨氮和亚硝酸盐对红螯螯虾幼虾和亚成虾的急性毒性[J]. *生物安全学报*, 2017, 26(4): 316-322.  
PAN Xunbin, ZHANG Xiuxia, LU Yaopeng, et al. Acute toxicity of ammonia and nitrite on juvenile and subadult red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) [J]. *Journal of Biosafety*, 2017, 26(4): 316-322.
- [14] 任黎华, 张继红, 王文琪, 等. 饵料对不同规格皱纹盘鲍能量收支的影响[J]. *渔业科学进展*, 2011, 32(5): 51-57.  
REN Lihua, ZHANG Jihong, WANG Wenqi, et al. Effects of three dietary treatments on the energy budget of different sized *Haliotis discus hannai Ino*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2011, 32(5): 51-57.
- [15] GB 17378-2007. 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
GB17378-2007. The specification for marine monitoring[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [16] GB17378.4/36.1-2007. 海洋监测规范第 4 部分: 海水分析[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.  
GB17378.4/36.1-2007. The specification for marine monitoring-Port 4: Seawater analysis[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [17] 薛素燕, 李加琦, 李阳, 等. 短期酸化对魁蚶摄食、呼吸代谢及能量收支的影响[J]. *渔业科学进展*, 2020, 41(5): 127-133.  
XUE Suyan, LI Jiaqi, LI Yang, et al. Effects of short-term acidification on feeding, respiratory metabolism, and energy budget of *Scapharca broughtonii*[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2020, 41(5): 127-133.
- [18] 董小敬, 赵孟杰, 张志豪, 等. 盐度对大口黑鲈生长、肌肉营养成分及肝脏免疫酶活性的影响[J]. *扬州大学学报(农业与生命科学版)*, 2021, 42(6): 106-110.  
DONG Xiaojing, ZHAO Mengjie, ZHANG Zhihao, et al. Effects of water salinity on growth performance, muscle nutrient composition and liver antioxidant enzyme capacity in *Micropterus salmoides*[J]. *Journal of Yangzhou University(Agricultural and Life Science Edition)*, 2021, 42(6): 106-110.
- [19] 王治平, 李彬, 秦蕾, 等. 刺参“参优 1 号”新品种在不同盐度下的代谢特征和适应性研究[J]. *渔业科学进展*, 2021, 42(3): 108-115.  
WANG Zhiping, LI Bin, QIN Lei, et al. Metabolic characteristics and adaptability of a new variety of sea cucumber “Shenyou No.1” under different salinities[J]. *Progress in Fishery Sciences*, 2021, 42(3): 108-115.
- [20] 许岚, 李琪, 孔令锋, 等. 温度和盐度对壳黑长牡蛎幼虫生长和存活的影响[J]. *中国海洋大学学报(自然科学版)*, 2017, 47(8): 44-50.  
XU Lan, LI Qi, KONG Lingfeng, et al. Effects of temperature and salinity on growth and survival of larvae of black-shell Pacific oyster (*Crassostrea gigas*)[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2017, 47(8): 44-50.
- [21] 谢仁政, 初庆柱, 黄海立, 等. 盐度对珠母贝幼虫和稚贝存活和生长的影响[J]. *广东海洋大学学报*, 2013, 33(6): 57-61.  
XIE Renzheng, CHU Qingzhu, HUANG Haili, et al. Effects of sea salinity on the growth and survival of *Pinctada margaritifera* granosa larvae and juveniles[J]. *Journal of Guangdong Ocean University*, 2013, 33(6): 57-61.
- [22] 谢玺, 王庆志, 赵希纯, 等. 盐度对宽壳全海笋稚贝存活与生长的影响[J]. *生态学杂志*, 2017, 36(6): 1622-1627.  
XIE Xi, WANG Qingzhi, ZHAO Xichun, et al. Effects of salinity on the growth and survival of *Barnea dilatata* juveniles[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2017, 36(6): 1622-1627.
- [23] 刘伟成, 冀德伟, 单乐州, 等. 盐度和温度对条石鲷幼鱼能量收支的影响[J]. *浙江农业学报*, 2011, 23(5): 894-899.  
LIU Weicheng, JI Dewei, SHAN Lezhou, et al. Effects of salinity and temperature on energy budget of juvenile *Oplegnathus fasciatus*[J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2011, 23(5): 894-899.
- [24] 聂鸿涛, 邢宁宁, 王海伦, 等. 温度和盐度对加州扁鸟蛤耗氧率和排氨率的影响[J]. *水产科学*, 2017,

- 36(5): 658-661.  
NIE Hongtao, XING Ningning, WANG Hailun, et al. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion in Cockle *Clinocardium californiense*[J]. Fisheries Science, 2017, 36(5): 658-661.
- [25] 胡发文, 王晓龙, 高凤祥, 等. 温度、盐度和两种麻醉剂对大泷六线鱼幼鱼耗氧率、排氨率的影响[J]. 海洋科学, 2021, 45(1): 54-61.  
HU Fawen, WANG Xiaolong, GAO Fengxiang, et al. Influence of temperature, salinity, and anesthetics on the oxygen consumption and ammonia excretion rates in fat greenling (*Hexagrammos otakii*) juveniles[J]. Marine Sciences, 2021, 45(1): 54-61.
- [26] 吕旭宁, 王晓芹, 吴亚林, 等. 温度对凸壳肌蛤能量收支的影响[J]. 渔业科学进展, 2018, 39(4): 119-125.  
LV Xuning, WANG Xiaoqin, WU Yalin, et al. Effect of temperature on the energy budget of *Arcuatula senhousiei*[J]. Progress in Fishery Sciences, 2018, 39(4): 119-125.
- [27] 吴文广, 张继红, 高振锬, 等. 温度和盐度对不同规格甲虫螺(*Cantharus cecillei*)耗氧率和排氨率的影响[J]. 渔业科学进展, 2016, 37(2): 134-138.  
WU Wenguang, ZHANG Jihong, GAO Zhenkun, et al. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion rate of whelk *Cantharus cecillei* with different sizes[J]. Progress in Fishery Sciences, 2016, 37(2): 134-138.
- [28] 吴文广, 张继红, 方建光, 等. 盐度对不同规格泥螺耗氧率和排氨率的影响[J]. 生态学杂志, 2013, 32(9): 2457-2461.  
WU Wenguang, ZHANG Jihong, FANG Jianguang, et al. Effects of salinity on oxygen consumption and ammonia excretion rate of different sizes of *Bullacta exarata*[J]. Chinese Journal of Ecology, 2013, 32(9): 2457-2461.
- [29] 柯盛, 申玉春, 张才学. 盐度与温度对马氏珠母贝能量收支的初步研究[J]. 黑龙江水产, 2012, 1: 27-30.  
KE Sheng, SHEN Yuchun, ZHANG Caixue, et al. The preliminary study of salinity and temperature on the energy budget of *Pinctada fucata martensii*[J]. Northern Chinese Fisheries, 2012, 1: 27-30.
- [30] TORRES G, GIMENEZ L, ANGER K. Effects of reduced salinity on the biochemical composition (lipid, protein) of zoeal decapod crustacean larvae[J]. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2002, 277: 43-60.
- [31] ZHENG Z M, JIN C H, LI M Y, et al. Effects of temperature and salinity on oxygen consumption and ammonia excretion of juvenile miiuy croaker, *Miichthys miiuy* (Basilewsky)[J]. Aquaculture International, 2008, 16(6): 581-589.
- [32] 崔前进, 尚胜男, 蔡忠璐, 等. 盐度、温度和体质量对钝吻黄盖鲈幼鱼排氨率和耗氧率的影响[J]. 上海海洋大学学报(自然科学版), 2018, 27(1): 64-72.  
CUI Qianjin, SHANG Shengnan, CAI Zhonglu, et al. Influence of salinity, temperature and body weight on oxygen consumption and ammonia excretion of *Pleuronectes yokohama* juvenile[J]. Journal of Shanghai Ocean University (Natural Science Edition), 2018, 27(1): 64-72.
- [33] 吕国华, 梁建超, 徐东坡, 等. 温度对不同规格橄榄蛭蚌能量收支的影响[J]. 南京农业大学学报(自然科学版), 2021, 44(6): 1177-1186.  
LV Guohua, LIANG Jianchao, XU Dongpo, et al. Effects of temperature on energy budget of *Solenia oleivira* with different sizes[J]. Journal of Nanjing Agricultural University(Natural Science Edition), 2021, 44(6): 1177-1186.
- [34] 李金碧. 环境因子对栉江珧能量收支的影响[D]. 武汉: 华中农业大学, 2009.  
LI Jinbi. Effects of environmental factors on the energy budget of pen shell *Atrina pectinata*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2009.
- [35] 王雅倩, 郭万卿, 白利丹, 等. 温度、盐度、饵料浓度对大竹蛭能量收支的影响[J]. 渔业研究, 2020, 42(2): 167-171.  
WANG Yaqian, GUO Wanqing, BAI Lidan, et al. Study on the energy budget of *Solen grandis* Dunker[J]. Journal of Fisheries Research, 2020, 42(2): 167-171.
- [36] 阎希柱, 王桂忠, 李少菁. 盐度对九孔鲍能量收支的影响[J]. 生态学杂志, 2009, 28(8): 1520-1524.  
YAN Xizhu, WANG Guizhong, LI Shaojing. Effects of water salinity on the energy budget of *Haliotis diversicolor aquatilis*[J]. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(8): 1520-1524.
- [37] 胡炜, 赵斌, 李成林, 等. 慢性氨氮胁迫对刺参摄食与消化酶活性的影响[J]. 中国水产科学, 2018, 25(1): 137-146.  
HU Wei, ZHAO Bin, LI Chenglin, et al. Effects of chronic ammonia nitrogen stress on the feeding and digestive enzyme activities of sea cucumber (*Apostichopus japonicas* Selenka) [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2018, 25(1): 137-146.
- [38] 韩英, 蔺佳文, 吕晓楠, 等. 氨氮急性胁迫下二、三倍体雌性虹鳟应激耐受性比较[J]. 东北农业大学学报, 2021, 52(5): 49-58.  
HAN Ying, LIN Jiawen, LV Xiaonan, et al. Comparison of tolerance between diploid and triploid female rainbow trout under acute ammonia nitrogen stress[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2021, 52(5): 49-58.

- [39] 赵斌, 周红学, 李成林, 等. 氨氮胁迫对刺参“鲁海 1 号”非特异性免疫的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2022, 2: 1-8.  
ZHAO Bin, ZHOU Hongxue, LI Chenglin, et al. Effects of ammonia nitrogen stress on activities of non-specific immune enzymes of sea cucumber Luhai No.1[J]. Journal of Northwest A&F University(Natural Science Edition), 2022, 2: 1-8.
- [40] 王梦杰, 马本贺, 王玮欣, 等. 慢性氨氮胁迫对台湾泥鳅幼鱼生长、免疫及组织结构的影响[J]. 水生生物学报, 2021, 45(2): 267-274.  
WANG Mengjie, MA Benhe, WANG Weixin, et al. Effects of chronic ammonia stress on growth, immunity and histological structure of juvenile Taiwan loach (*Paramisgurnus dabryanus* ssp.Taiwan)[J]. Acta Hydrobiologica Sinica, 2021, 45(2): 267-274.
- [41] HUANG J X, QIN G, ZHANG B, et al. Effects of food, salinity, and ammonia-nitrogen on the physiology of juvenile seahorse (*Hippocampus erectus*) in two typical culture models in China[J]. Aquaculture, 2020, 520: 734965.
- [42] 谭春明, 赵旺, 吴开畅, 等. 氨氮胁迫对方斑东风螺六种免疫酶活性的影响[J]. 海洋科学, 2019, 43(4): 8-15.  
TAN Chunming, ZHAO Wang, WU Kaichang, et al. Effects of ammonia nitrogen stress on the activities of six immune enzymes of *Babylonia areolata*[J]. Marine Sciences, 2019, 43(4): 8-15.
- [43] 师尚丽, 冯奕成, 郑莲, 等. 不同 pH 和盐度下氨氮对方斑东风螺的毒性研究[J]. 湛江海洋大学学报(自然科学版), 2005, 11(6): 36-40.  
SHI Shangli, FENG Yicheng, ZHENG Lian, et al. Toxicity of ammonia-N in *Babylonia areolata* at different pH and salinity[J]. Journal of Zhanjiang Ocean University (Natural Science Edition), 2005, 11(6): 36-40.
- [44] SUN B, LUO H, ZHAO S, et al. Characterization and expression analysis of a gC1qR gene from *Macrobachium nipponense* under ammonia-N stress[J]. Aquaculture, 2019, 513: 734426.
- [45] 王鑫, 李荣, 刘东超, 等. 氨氮对红鳍东方鲀生长及能量收支的影响[J]. 水产科学, 2014, 33(7): 433-437.  
WANG Xin, LI Rong, LIU Dongchao, et al. Effects of ammonia on growth and energy budgets of red puffer *Takifugu rubripes*[J]. Fisheries Science, 2014, 33(7): 433-437.
- [46] 张磊. 黄颡鱼能量收支及生物能量学最适生长模型的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2010.  
ZHANG Lei. Energy budget and optimum bioenergetic growth model of yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2010.



# Effects of salinity and ammonia nitrogen on the survival and energy budget of ivory shell *Babylonia areolata*

ZHOU Jian-cong<sup>1</sup>, GU Zhi-feng<sup>1, 2</sup>, YE Bing-cong<sup>1</sup>, LIU Chuang<sup>1</sup>, YANG Yu-mei<sup>1</sup>, LIU Chun-sheng<sup>1, 2</sup>, WANG Ai-min<sup>1, 2</sup>, SHI Yao-hua<sup>1</sup>

(1. Ocean College, Hainan University, Haikou 507228, China; 2. State Key Laboratory of Marine Resource Utilization in South China Sea, Hainan University, Haikou 507228, China)

Received: Sep. 7, 2021

**Key words:** *Babylonia areolata*; salinity; ammonia nitrogen; survival rate; energy budget

**Abstract:** In order to explore the effects of salinity and ammonia nitrogen levels on its physiological metabolism, the influence of varying salinity and ammonia nitrogen levels on the survival rate and energy budget of *Babylonia areolata* was studied by experimental ecological methods. Results demonstrated that the survival rate of *B. areolata* initially augmented and then declined with the increase of salinity. When *B. areolata* were reared in the seawater with a salinity of 25 and 30, the survival rates reached 100%, and the low and high-salt 96 h LC<sub>50</sub> accumulation reached 10.14 and 44.36, respectively. When the ammonia nitrogen concentration was between 0 and 20mg/L, the survival rate of *B. areolata* attained 100% and then declined with an increase in the ammonia nitrogen concentration. The 96 h LC<sub>50</sub> of ammonia nitrogen also reached 253.83mg/L. Salinity and ammonia nitrogen also had a substantial influence on the ingestion rate, feces production rate, oxygen consumption rate and ammonia excretion rate of snails ( $P<0.05$ ). The feeding rate, feces production rate, and the ammonia exhalation rate of *B. areolata* also attained the utmost at the salinity of 30, measured at 20.50, 8.62 and 0.07 mg/(g·h), respectively. The oxygen consumption rate reached its maximum at a salinity of 35, measured at 1.84 mg/(g·h). Similarly, in the ammonia nitrogen experiment, the feeding rate, and feces production rate reached a maximum of 10 mg/L, measured at 23.58 and 10.42 mg/(g·h), respectively. The oxygen consumption rate and the ammonia excretion rate reached a maximum of 20 mg/L, measured at 2.49 and 0.13 mg/(g·h), respectively. According to the energy budget equation, the growth energy ratio of *B. areolata* elevated first and declined afterwards with augmented salinity and ammonia nitrogen concentration and reached a maximum at the salinity of 30 and the ammonia nitrogen concentration of 5 mg/L, respectively. In this study, from the perspective of energy budget, we studied the effects of salinity and ammonia nitrogen on the physiological metabolism of *B. areolata* for the first time, which could offer a useful reference for its factory farming.

(本文编辑: 谭雪静)